

# 基于扩展Petri网的仿真建模与分析

汤志伟, 殷 静

(电子科技大学政治与公共管理学院 成都 610054)

**【摘要】**从扩展事件驱动过程链(EEPC)和传统Petri网入手, 结合二者的特点, 提出新的仿真模型——基于EEPC的扩展Petri模型。该仿真模型既能体现业务流程的逻辑结构, 又能定量对时间等因素进行计算与判定, 从定性和定量两个方面保证了流程分析的正确性与有效性。以某医院内科病人就诊流程为例对该仿真模型进行了有效性验证。

**关键词** 扩展事件驱动过程链; Petri网; 流程; 可达图; 仿真

**中图分类号** TP391.7

**文献标识码** A

**doi:**10.3969/j.issn.1001-0548.2012.01.025

## Extended Petri Net-Based Simulation Modeling and Analysis

TANG Zhi-wei and YIN Jing

School of Political Science and Public Administration, University of Electronic Science and Technology of China Chengdu 610054

**Abstract** Starting from the extended event process chain (EEPC) and traditional Petri net, the extended Petri net model based on EEPC is proposed. This model can reflect the logical structure of the process, make a quantitative calculation and judgment of such factors as time, thus guaranteeing the correctness and validity of the process analysis qualitatively and quantitatively. Each step of this new model is introduced. The proposed model is validated through a real-world hospital BPR case study.

**Key words** EEPC; Petri net; process; reachability graph; simulation

文献[1]定义“BPR是对企业的业务流程(process)作根本性(fundamental)的思考和彻底性(radical)重建, 其目的是在成本、质量、服务和速度等方面取得显著性(dramatic)的改善, 使得企业能最大限度地适应以顾客(customer)、竞争(competition)、变化(change)为特征的现代企业经营环境”。

BPR是一种思想, 也是一个系统性的实施过程。通过计算机仿真模型<sup>[2]</sup>对现有流程进行描述与分析, 可以了解、梳理流程的现状, 发现其中存在的问题, 以便诊断企业症结, 为流程优化与重组找准切入点。针对业务流程重组的计算机仿真模型, 国内外学者进行了不同程度的研究。如文献[3]曾尝试将自动作业流(automation workflow, AW)与BPR结合, 利用AW作为BPR计划阶段的工具; 文献[4]也鉴于仿真方法具有反复再现动态行为的特点, 认为其可以广泛应用于BPR, 并建议利用仿真建立BPR的理解模型、比较模型和训练模型。文献[5-6]在EPC(event-process chain)事件-流程模型的基础上考虑了与过程模型相关的动态因素, 从更为深入和细

化的角度, 提出了适合于BPR的动态过程模型EEPC。而目前从国内而言, 一方面主要是应用现有的来自其他领域的分析方法, 如流程图DFD法(date flow diagram)、IDEF系列、Petri网及统一建模语言(unified modeling language, UML); 另一方面, 针对现有的方法进行分析与比较, 指出现有方法的优缺点。此外, 还有很多学者在分析现有模型后, 针对具体领域提出了相应的新模型。如文献[7]提出了扩展的Petri网模型, 结合Petri技术<sup>[8-10]</sup>与PDM系统集成技术。目前有许多用于流程分析的建模技术, 但缺乏, 既能体现流程的逻辑结构, 又能定量地对时间等因素进行计算与判定, 从定性和定量两个方面保证流程分析的正确性与有效性的分析模型。

### 1 基于EEPC的扩展Petri网计算机仿真模型技术

#### 1.1 扩展的结构表示方法

Petri网路由<sup>[11-12]</sup>表示中经常出现AND-split、AND-join、OR-split、OR-join结构, 按照一般的路

由表示方法,很难清楚快速地进行辨识。由此,本文选用如图1所示的特殊符号表示。

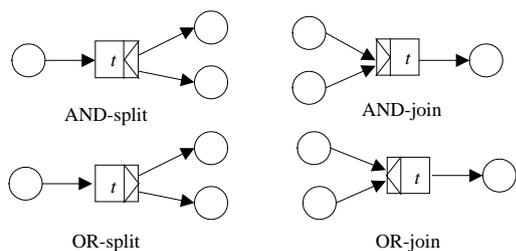


图1 基本结构表示方法

## 1.2 基于EEPC的扩展Petri网计算机仿真模型技术

Petri网作为基于状态的建模方法<sup>[13]</sup>,具有直观、形象的特点,且其以严格的模型语义和数学分析方法为基础,在流程建模方面有着一定的优势。但Petri网只讨论控制转移结构,只描述业务过程的动态特性而未涉及数据及数据的变化。

EEPC则是基于时间的定量分析,在流程的图形化过程中加入了时间、站点等因素,并且通过建立二维判断像限,分析站点利用率、运行周期,验证模型的仿真能力,从客观的量化角度弥补了Petri网的不足。但EEPC只能进行时间、站点利用率的判断和一般分支的建立,无法体现流程自身的逻辑特性。

本文以Petri网和EEPC为基础,结合二者的优点,并且在跨功能流程图法中加入执行相应活动的功能单元或组织单元,提出了基于EEPC的扩展Petri网建模技术。主要设计思想是:在采用Petri网对控制转移结构描述的基础上,加入延迟时间、事件发生时间两个因素,并在图形化过程中反映执行流程的功能单元或组织单元,从而计算站点的使用率、在站点的延迟时间以及事件发生时间。然后,依据分析的数据对整个流程进行仿真与改进,对于其中较为复杂的事件,还可采用逐层分解的方法。基于EEPC的扩展Petri网建模技术,一方面能体现流程的逻辑结构;另一方面能定量地对时间等因素进行计算与判定,从定性和定量两个方面保证流程分析的正确性与有效性。

基于EEPC的Petri网建模技术主要步骤如下:

- 1) 依据事件发生的先后顺序对流程进行图形化描述。
- 2) 分析工作流程的正确性。对流程的内部行为和结构进行分析计算,使得工作流程在理论上是正确和有效的。

基于EEPC的扩展Petri网建模技术是在Petri网中加入时间、执行单元等因素,在路由结构上与传

统的Petri网是等同的,其对于工作流程的内部行为和结构的正确性验证,仍采用Petri网中可达树或可达图的验证方法。通过对可达树与可达图的分析与比较,本文采用可达图进行分析。

3) 评价工作流程的性能。基于EEPC的扩展Petri网建模技术的性能分析主要依赖于EEPC中的性能分析思想,计算流程的时间周期、延迟时间以及站点利用率,并以站点利用率和延迟时间为基础建立二维像限,有针对性地分析并提出相应的解决方法。延迟时间指移动到站的时间和等待服务的时间之和。进行再造时,各站的延迟时间应尽可能最小化。周期时间是整个过程所花费的时间总量,是整个BPR项目的主要指标<sup>[7]</sup>。依据由延迟时间和站点利用率所构成的二维像限,将分别对4种情况进行再造,如图2所示。

|       |   |                       |                                       |
|-------|---|-----------------------|---------------------------------------|
| 站点利用率 | 高 | 情况1<br>措施: 无行动        | 情况2<br>措施: 1)极小化移动/等待时间<br>2)增加站的工作能力 |
|       | 低 | 情况3<br>措施: 转移站的部分工作能力 | 情况4<br>措施: 1)改变到达模式<br>2)检查及再造工作策略    |
|       |   | 短                     | 长                                     |

图2 情况分析再造策略

## 2 案例分析

为进一步论证基于EEPC的扩展Petri网仿真模型的正确性与有效性,以医院的病人就诊过程为例,进行再造分析。

### 2.1 现状分析

某医院的门诊流程是多年沿袭下来的一种自然过程,门诊病人至少要排4次队(挂号、候诊、付费、取药),付3次费(挂号费、药费、辅助检查费),看一次病花费时间少则一小时,多则一天。在实施流程再造之前,存在的问题是没有从患者的角度安排就诊程序,而是让患者自己去适应门诊流程的各个环节,患者就诊过程中多次往返于各部门,大量的时间、精力消耗于非诊治过程。本文基于EEPC的扩展Petri网建模技术对该医院的门诊流程进行分析与应用。

1) 就诊过程的图形化描述。病人就诊过程的图形化描述如图3所示。图中,病人以0.6 min的间隔到达医院并进行挂号,其处理时间为1~3 min。病人在挂号后选择科室进行就诊,其中25%的人选择内

科, 移动时间为1~2 min。到达内科室, 病人依次等待时间约为20 min。

病人在内科诊断时间为8~10 min, 查看完毕后, 需要取药和进行放射科检查的病人再次到大厅交费。需要检查的病人, 交费后前往检查, 随后再到药房取药, 这时病人必须等待的时间用 $w_2$ 表示, 在该等待时间里, 医生完成接收处方、找药、配药的过程。

2) 就诊流程的正确性分析。图4为内科就诊过

程的可达图, 通过分析可知, 其完全符合于正确性定义的3条要求。由此可以确认整个流程在结构上、逻辑上的正确性。

3) 流程性能分析。针对当前情况对流程进行分析与仿真测试, 可知站点利用率为大厅88%, 内科94%, 药房77%, 放射科检查室64%。延迟时间为大厅5.9 min, 内科32 min, 药房14 min, 放射科检查室1.4 min。整个就诊的周期时间为82.5 min。依次建立的二维像限如图5所示。

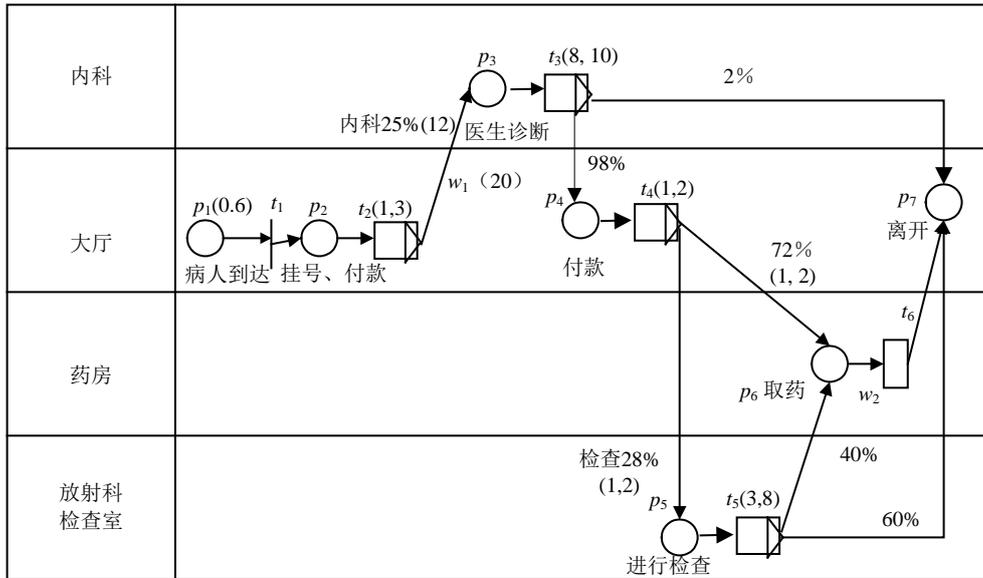


图3 内科就医过程

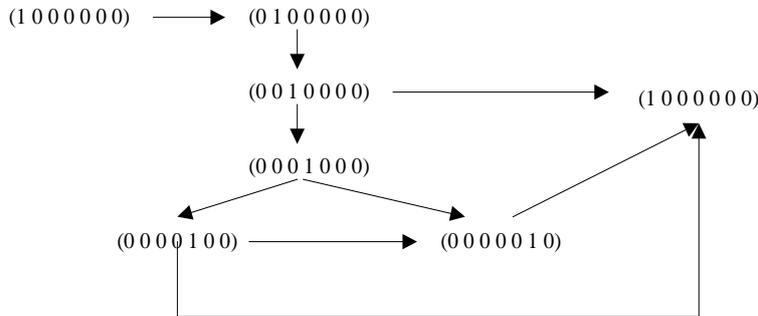


图4 就诊过程可达图



图5 现有流程的二像限图

## 2.2 再造流程

从建立的二维像限可知, 内科和药房属于情况2, 站点利用率高且延迟时间长。为缩短延迟时间, 可根据原因具体分类。如果长的延迟时间是由于病人等待时间过长而引起的, 则尽量采用并行化的方式或者减少、合并过程, 以减少冗余进行改进。如果长的延迟时间是由于病人的移动时间过长引起的, 则过程的再造必须以移动时间极小化为目标, 可采取上门服务而不是由病人去追赶服务。另外,

对于情况2，还可以通过增加站的工作能力进行再造，主要通过更新信息技术、增加人员或者安装更多的硬件设备。

依据上述两种情况进行再造，将过程图形化表

示，如图6所示。对再造1进行仿真测试后，可知周期时间由82.5 min缩短为58.5 min。除内科外其他站点的病人延迟时间都有缩短，而且各个站点的利用率也有较大的改变，如表1所示。

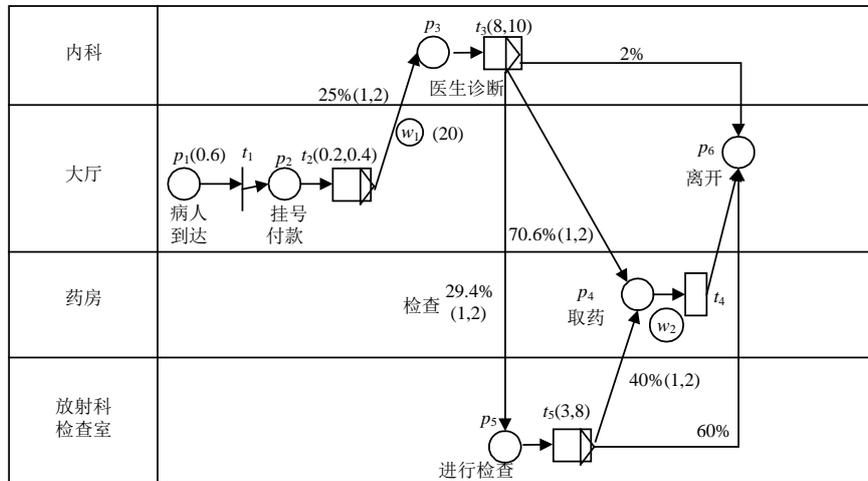


图6 内科就诊过程(再造1)

表1 再造前后对比

| 评价因素      | 类别     | 现状   | 再造1  |
|-----------|--------|------|------|
| 延迟时间/min  | 大厅     | 5.9  | 0.5  |
|           | 内科     | 32   | 38   |
|           | 药房     | 14   | 1.0  |
|           | 检查室    | 1.4  | 0.8  |
| 站点利用率/(%) | 大厅     | 88   | 46   |
|           | 内科     | 94   | 97   |
|           | 药房     | 77   | 80   |
| 周期时间/min  | 放射科检查室 | 64   | 79   |
|           | 平均时间   | 82.5 | 58.5 |

再造1使得病人的周期时间和延迟时间得以缩短，但内科仍有较长的延迟时间，挂号室的利用率也过低。因此，可考虑增加站的工作能力，进行再造2。因为医生的诊断尚不能用其他方法代替，可考虑增加一位医生。另外，大厅挂号处的利用率降低后，可考虑减少该处的工作人员。

通过对再造2仿真(再造2的模拟与仿真与再造1类似)可知，周期时间由82.5 min缩短为20.3 min，缩短了76%，且各站病人的延迟时间大大缩短。并且，相较于最开始的情况，挂号室人员减少50%，极大地提高了站点的利用率和病人的满意度。

### 3 结束语

流程分析与计算机仿真技术是流程重组中的核心技术，通过它对业务活动进行建模，可以规范企

业的业务流程运作，为进一步的业务流程分析和优化提供模板。本文从目前较流行的Petri网、EEPC入手，提出了基于EEPC的扩展Petri网建模技术。该模型融合了EEPC和Petri网的优点，既能体现流程自身的逻辑结构，从定性的角度分析流程的安全性、通畅性，又通过加入时间因素，使流程分析能通过定量计算得到进一步分析与优化。但同时也要看到，还存在着一定的缺陷，如在性能分析方面，除时间因素外，还有成本、费用、产出率等一些重要的因素还未予以考虑，这些均有待进一步内容的研究。

### 参 考 文 献

- [1] HAMMER M, CHAPY J. Reengineering work: Don't automate, obliterate[J]. Harvard Business Review, 1990, 8: 104-112.
- [2] 蔡章利, 易树平. 基于BPMN的业务流程一体化建模方法[J]. 计算机集成制造系统, 2010, 16(3): 551-557.  
CAI Zhang-li, YI Shu-ping. Business process integration modeling method based on business process modeling notation[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2010, 16(3): 551-557.
- [3] LOPES P F. Fine-tuning reengineering with work-flow automation: Blueprint and tool[J]. Industrial Engineering, 1993, 8: 51-53.
- [4] RAFFY A, MIKE F. Using simulation in the business process reengineering effort[J]. Industrial Engineering, 1994, 26(7): 25-61.
- [5] KIM, H W, KIM Y G. Dynamic process modeling for BPR: a computerized simulation approach[J]. Information and

- Management, 1997, 32(1): 1-13.
- [6] 李建中, 陈良欲. 扩展的事件-过程链方法EEPC及其在BPR中的应用[J]. 系统工程, 2000, 18(1): 42-48.  
LI Jian-zhong, CHEN Liang-yu. Extended event-process chain(EEPC) and application in BPR[J]. Systems Engineering, 2000, 18(1): 42-48.
- [7] 卢芳, 姚青. 业务流程中目标的可视化建模方法研究[J]. 计算机工程与应用, 2011, 47(21): 77-81.  
LU Fang, YAO Qing. Goal visualization modeling method of business process[J]. Computer Engineering and Applications, 2011, 47(21): 77-81.
- [8] ALI R, DALPIAZ F, GIORGIN P. A goal-based framework for contextual requirements modeling and analysis[J]. Requirements Engineering, 2010, 15(4): 439-458.
- [9] 贾国柱. 生产系统Petri网建模与仿真的优化方法[J]. 系统仿真学报, 2006, 18(2): 59-562.  
JIA Guo-zhu. Optimized method of Petri net modeling and simulation for production systems[J]. Journal of System Simulation, 2006, 18(2): 59-562.
- [10] 伍宏伟, 杨东. 基于赋时层次有色Petri网的医疗服务流程建模与优化[J]. 系统仿真学报, 2007, 19(4): 1658-1699.  
WU Hong-wei, YANG Dong. Hierarchical timed coloured Petri-net based approach to analyze and optimize medical treatment process[J]. Journal of System Simulation, 2007, 19(4): 1658-1699.
- [11] VAN Der AALST W M P, DESEL J, OBERWEIS A. Workflow verification: Finding control-flow errors using Petri-net-based techniques[C]//Proceedings of the Business Process Management 2000. [S.L.]: Springer Verlag, 2000: 161-183.
- [12] 贾国柱. 基于Petri网建模与仿真的制造企业生产系统流程再造方法[J]. 系统工程, 2007, 25(3): 45-55.  
JIA Guo-zhu. Production system reengineering approach for manufacturing enterprises based on Petri net modeling and simulation[J]. Systems Engineerin, 2007, 25(3): 45-55.
- [13] 黄东坡, 曹继平, 宋建社, 等. 基于Petri网的虚拟维修过程建模[J]. 兵工自动化, 2011, 30(1): 41-43.  
HUANG Dong-po, CAO Ji-ping, SONG Jian-she. Process-modeling in virtual maintenance based on Petri net[J]. Ordnance Industry Automation, 2011, 30(1): 41-43.

编辑 张俊

### 《计算机应用》征订启事

《计算机应用》月刊于1981年创刊, 是中国计算机学会会刊, 由中国科学院成都计算机应用研究所和四川计算机学会主办, 科学出版社出版。

《计算机应用》系中文核心期刊、中国科技核心期刊。被《中国科学引文数据库》、《中国科技论文统计源数据库》等国家重点检索机构列为引文期刊, 并被英国《科学文摘》(SA)、俄罗斯《文摘杂志》(AJ)、日本《日本科学技术振兴机构数据库》(JST)、美国《剑桥科学文摘: 材料信息》(CSA: MI)、波兰《哥白尼索引》(IC)、德国《数学文摘》(Zentralbratt MATH)等多种国外重要检索系统列为来源期刊。

我刊紧紧围绕“应用”。主要涉及网络与通信、信息安全、先进计算、人工智能、图形图像技术、数据库技术、计算机软件技术、现代服务业信息技术和典型应用等。

我刊是您学习计算机应用理论, 借鉴计算机应用技术, 参考计算机应用经验的最佳选择。

中国标准连续出版物号: ISSN 1001-9081 CN 51-1307/TP

2012年定价: 33元/册

国外发行代号: M4616

国内邮发代号: 62-110

联系人: 雍平

通信地址: 四川成都237信箱(武侯区)《计算机应用》编辑部(610041)

电话: (028) 85224283-803

传真: (028) 85222239-816

电子邮箱: bjb@joca.cn

网址: www.joca.cn